

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平8-509947

(43) 公表日 平成8年(1996)10月22日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I
C 0 3 B 33/09		7728-4G	C 0 3 B 33/09
B 2 3 K 26/00		7425-4E	B 2 3 K 26/00
	3 2 0	7425-4E	
B 2 6 F 3/16		7411-3C	B 2 6 F 3/16
B 2 8 D 1/00		7411-3C	B 2 8 D 1/00
			審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 43 頁)

(21) 出願番号 特願平5-517260  
 (88) (22) 出願日 平成5年(1993)4月2日  
 (85) 翻訳文提出日 平成6年(1994)10月3日  
 (86) 国際出願番号 PCT/GB93/00699  
 (87) 国際公開番号 WO93/20015  
 (87) 国際公開日 平成5年(1993)10月14日  
 (81) 指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M C, NL, PT, SE), AU, JP, KR, US

(71) 出願人 フォノン テクノロジー リミテッド  
 イギリス国ダブリュ1 ロンドン, マンス  
 フィールド ストリート 9  
 (72) 発明者 コンドラテンコ, プラディミア, ステバ  
 ノビッチ  
 ロシア連邦共和国 111402 モスクワ, ベ  
 シュナコプスカヤ 12/1-41  
 (74) 代理人 弁理士 浅村 皓 (外3名)

(54) 【発明の名称】 非金属材料の分割

## (57) 【要約】

非金属材料、特にガラスを切断する方法は、軟化点に近い温度まで行われる入射放射線による加熱にあり、ビームおよび材料の相対的な移動速度、および局所的に冷却される加熱部の領域は、材料に亀裂が形成されるように選択される。この方法は切断速度および精度を実質的に向上させるために、また亀裂により形成される切断面の深さ、形状および角度を制御するために提供される。この方法はガラス窓、ミラーを作るために自動車工業に、LEDインジケータパネルの精密なパッキングおよび基体、およびマスク、磁気およびオプトマグネティックディスクを作るために電子工業に、保護ガラスを作るために時計製造に、構造的要素を作るために航空宇宙工業に、ガラス製造技術にその全体を含めてガラスの寸法パターン切断のために構造建築に、およびその他の非金属材料の正確な物品が作られる製造技術分野に使用できる。

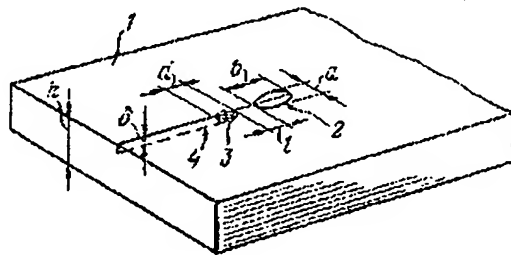


FIG.1

BEST AVAILABLE COPY

**【特許請求の範囲】**

1. 脆い非金属材料本体の一方の表面に対して特定深さ且つ方向の亀裂を形成する方法であって、

本体と第1放射ビームが表面に当てられるターゲット面積部分との間において亀裂の意図する方向に沿って相対的な運動を行わせ、

亀裂の意図された線上で且つ選択された距離だけターゲット面積部分から下流方向へ移動した加熱表面上の1点へ冷却媒体の流れを方向決めし、および

材料の軟化点より低い温度に表面を加熱するようビームエネルギーを制御する諸段階を含む亀裂形成方法。

2. 請求項1に請求された方法であって、本体上に当たる箇所でビームに非円形横断面を与え、ターゲット面積部分は亀裂に直角な方向よりも亀裂に沿った方向に長い亀裂形成方法。

3. 請求項2に請求された方法であって、ターゲット面積部分が実質的に楕円形である亀裂形成方法。

4. 先行請求項のいずれか1項に請求された方法であって、境界および意図された亀裂線を含む本体の少なくとも体積部分が予熱される亀裂形成方法。

5. 請求項4に請求された方法であって、亀裂の所望深さに関係した選択された温度に本体が予熱される亀裂形成方法。

6. 先行請求項のいずれか1項に請求された方法であって、亀裂が形成された後に亀裂の線に沿ってその亀裂の深さを更に深くするのに十分な範囲で本体が加熱される亀裂形成方法。

7. 請求項6に請求された方法であって、この事後加熱が亀裂と同軸または平行な経路に沿って移動する第2放射ビームにより行われる亀裂形成方法。

8. 先行請求項のいずれか1項に請求された方法であって、第1のビームが最初に入射した本体表面の一部が本体の境界から内方へ間隔を隔てられた亀裂形成方法。

9. 請求項8に請求された方法であって、第1ビームの経路が本体表面の閉結曲線を追跡し、ビームのターゲット面積部分が非円形のときはターゲット面積部

(3)

特表平8-509947

分の長軸の方向がターゲット面積部分の中央に位置する曲線上の点で接線方向に一定して配向された亀裂形成方法。

10. 請求項9に請求された方法であって、長軸が前記接線と同芯または平行である亀裂形成方法。

11. 請求項9に請求された方法であって、長軸が前記接線に対して固定された角度で延在された亀裂形成方法。

12. 脆い非金属材料本体に特定の全体形状をした亀裂を形成する方法であって、

本体と第1放射ビームが本体の表面に当てられるターゲット面積部分との間において亀裂の意図する方向に沿って相対的な運動を行わせ、

亀裂の意図された線上で且つ選択された距離だけターゲット面積部分から下流方向へ移動した加熱表面上の1点へ冷却媒体の流れを方向決めし、

ターゲット面積部分の長軸がターゲット面積部分内に位置する亀裂の意図された経路上の1点に対する接線に対して実質的に固定した角度で延在されて、ターゲット面積部分を実質的に楕円形にし、および

材料の軟化点より低い温度に表面を加熱するようビームエネルギーを制御する諸段階を含む亀裂形成方法。

13. 先行請求項のいずれか1項に請求された方法であって、意図された亀裂の経路が閉結曲線を形成するようにされたとき、本体表面は該経路の増分部分に沿ってスコアーを形成され、このスコアーの深さはその反対両端で異なり、また第1放射ビームが最初はより深いスコアー部分に向けられる亀裂形成方法。

14. 請求項13に請求された方法であって、本体表面から予め定めた深さまで材料をえぐることができる硬質材料の鋭いポイントでスコアーを形成することを含む亀裂形成方法。

15. 先行請求項のいずれか1項に請求された方法であって、ビームおよび材料の相対的な移動速度が次式、すなわち

$$V = k a (b + 1) / \delta$$

(V:ビームスポットおよび材料の相対的な移動速度、k:材料の熱物理特性

4

(4)

特表平8-509947

およびビームの出力密度に依存した比例係数、 $a$ ：材料表面上の加熱ビームスポットの横方向寸法、 $b$ ：材料表面上の加熱ビームスポットの縦方向寸法、 $l$ ：加熱ビームスポットの後端縁から冷却帯の前端縁までの距離、 $\delta$ ：盲亀裂の深さ）を満たす亀裂形成方法。

16. 請求項15に請求された方法であって、ビームは干渉性放射で楕円形横断面とされ、レーザービームスポットの寸法はビーム出力密度を  $(0.3 - 20.0) \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  の範囲に維持する条件を満たしており、以下の比例関係、すなわち

$$a = (0.2 - 2.0) h,$$

$$b = (1.0 - 10.0) h$$

( $a$ ,  $b$ ：それぞれ楕円の短軸および長軸の長さ、 $h$ ：材料の厚さ)

が観察される亀裂形成方法。

17. 請求項15または請求項16に請求された方法であって、切断作動に先行して材料が次の条件、すなわち

$$T = (0.4 - 1.0) \Delta T \quad (\Delta T: \text{冷却される材料の熱抵抗})$$

を満たす温度まで予熱される亀裂形成方法。

18. ビームおよび材料の相対的な移動、および加熱帯の局所的加熱を行って、加熱ビームで切断線を加熱して生じた熱弾性応力の作用の下で非金属材料、特にガラスを切断する方法であって、材料の軟化点に近い温度まで加熱が行われ、加熱ビームおよび材料の相対的な移動速度および加熱帯の局所的な冷却スポットが材料に盲分割亀裂を形成する条件を満たすように選択されたことを特徴とする非金属材料の切断方法。

19. 請求項18に請求された方法であって、ビームおよび材料の相対的な移動速度が次式、すなわち

$$V = k a (b + 1) / \delta$$

( $V$ ：加熱ビームおよび材料の相対的な移動速度、 $k$ ：材料の熱物理特性および加熱ビームの出力密度に依存した比例係数、 $a$ ：材料表面上の加熱ビームスポ

A

(5)

特表平8-509947

熱ビームスポットの後端縁から冷却帯の前端縁までの距離、 $\delta$ ：盲亀分割裂の深さ)

から見出される非金属材料の切断方法。

20. 請求項19に請求された方法であって、使用されたビーム楕円形横断面のレーザービームであり、レーザービームの寸法はビーム出力密度を $(0.3 - 20.0) \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ の範囲に維持する条件を満たすように選択され、以下の比例関係、すなわち

$$a = (0.2 - 2.0) h,$$

$$b = (1.0 - 10.0) h$$

( $a$ ,  $b$ ：それぞれ楕円の短軸および長軸の長さ、 $h$ ：材料の厚さ)

が観察されることを特徴とする非金属材料の切断方法。

21. 請求項18、請求項19および請求項20に請求された方法であって、切断作動の開始に先行して材料が予熱されて準備され、予熱温度は次の条件、すなわち

$$T = (0.4 - 1.0) \Delta T \quad (\Delta T: \text{冷却される材料の熱抵抗})$$

を満たすように選択されることを特徴とする非金属材料の切断方法。

22. 請求項18、請求項19、請求項20および請求項21に請求された方法であって、盲分割亀裂が材料に形成され、切断線の再加熱が行われることを特徴とする非金属材料の切断方法。

23. 請求項18、請求項19、請求項20、請求項21および請求項22に請求された方法であって、閉結された曲線輪郭に沿う切断において、移動の間に楕円形横断面の加熱ビームが曲線輪郭のいずれかの点で切断線に対して接線方向に割り出されることを特徴とする非金属材料の切断方法。

24. 請求項18、請求項19、請求項20、請求項21および請求項22に請

求された方法であって、切断に先行して、切断線に沿って材料表面は次第に深さが深くなるスコアーを形成され、その後加熱および冷却がスコアーの最深部から連続的に開始されることを特徴とする非金属材料の切断方法。

(5)

特表平8-509947

率半径の曲線輪郭に沿って切断されるとき、再加熱はその中心から彎曲輪郭の境界へ向けてオフセットした加熱ビームで行われることを特徴とする非金属材料の切断方法。

26. 請求項23、請求項24および請求項25に請求された方法であって、分割亀裂の形状および進行方向を制御するために、その移動経路に沿ってエネルギーが再分布される加熱ビームにより熱が導かれる一方、加熱ビーム位置に対して材料表面上の冷却帯の位置を制御することを特徴とする非金属材料の切断方法。

27. 請求項18、請求項19、請求項20、請求項21、請求項22、請求項23、請求項24、請求項25および請求項26に請求された方法であって、装飾用の隆起パターン縁部を有する物品を製造するために、楕円形横断面の加熱ビームで熱が導かれ、その長軸は $3 \sim 45^\circ$ の範囲内の角度 $\phi$ で移動路に対して回転されることを特徴とする非金属材料の切断方法。

## 【発明の詳細な説明】

非金属材料の分割

本発明はガラスのような脆い非金属材料の物体の分割に関するものである。

ダイヤモンドまたは炭化タングステン工具を使用して、研磨または刻線（すなわちスクライビング（scribing））で材料を除去してガラスまたは他の脆い非金属材料の物体を加工することが知られている。このような処理は、それらが基本的には手作業で行われる理由から、多大な時間の消費および熟練を必要とする。

GA-A-1254120は、物体の厚さ全体にわたって延在する亀裂を引き起こす熱衝撃を発生させるために、干渉性放射の入射ビームによる物体の強烈的な局所加熱および熱影響帯からの熱の除去（abstraction）により生じる熱衝撃によって、ガラスまたは同様な材料の物体を2つの部分に分割する方法を開示している。

この方法では、1片の板ガラスは10.6  $\mu\text{m}$ のレーザービーム放射で加熱される。ビームエネルギーの幾分かは反射されるが、大部分は吸収され、1波長と同じ厚さの薄い表面層に熱として解放される。しかしながらこの加熱層に発生した圧縮応力はガラスを割るには至らない。熱伝導によりガラス物体の内部へ更に伝播される。板ガラスの分割は、そのガラスのかなりの容積が加熱され、熱誘起応力がその引張り強度を超えたときに起こる。亀裂が形成され始めるときには、レーザービームの入力点は既にガラスの縁部から移動されている。したがって亀裂の進行および伝播はレーザースポットの動きより遅れる。ガラスの熱分割の速度はどちらかと言えば遅く、レーザービーム出力を高めることで速めることはできない。何故ならこの出力があるレベルを超えるとガラスは過熱されてしまい、加熱線に沿った縦および横方向の微細亀裂の形成が明白となるからである。

熱分割の速度は切断されるガラスの厚さの2乗に逆比例する。熱分割速度は最初のガラス板すなわちガラスシートの寸法にも依存することが見出されている。最初の板の寸法が大きければ大きいほど、熱分割速度は遅くなり、500×300mmを超える寸法のガラスブランクを熱分割することはできない。

の理由によって十分に高い切断精度を与えることはない。熱亀裂はガラス板の縁部から始まる。この亀裂が始まる時点までにレーザービームは既にガラスの縁部から移動して離れている。この面積部分内、すなわちガラス縁部からレーザービームスポットまでの範囲において、実際に分割が始まるまでは熱応力の複雑な分布がガラス本体内に照射線に沿って生じる。

亀裂が進行するときは、亀裂は熱応力がガラスの引張り強度を超えた面積部分を通して伝播する。これは亀裂がレーザービームスポットに直ぐ隣接する面積部分に達するまで続き、そこでは大圧縮応力が表面層に集中している。亀裂は応力をバイパスするように進行する。この点において、亀裂の始点および加熱表面層の下側のガラス部分における引張り応力が組み合って亀裂のそれ以上の伝播を止めるようにする。

亀裂が進行すると、亀裂の両側における材料縁部は離れる方向へ押され、亀裂の更なる伝播を助成する機械的応力をもたらす。正確な分割を保証するために、亀裂発生力は亀裂平面に関して対称的でないことが本質である。これは亀裂が中央面に沿って発生されるべきときは容易に達成でき、その場合には亀裂はレーザービームスポットが追跡するラインから外れるにしてもほんの僅かである。このために、亀裂が板の境界へ向けて進行すると熱弾性応力が非対称となるために亀裂はレーザービームの走路に対して彎曲する。

既に言及したように、レーザーに誘起される熱分割の速度は切断される板の寸法に依存する。したがって500×300mm寸法で3mm厚の浮動ガラス板の熱分割速度は、同じ材料の30×100mmのものが8mm/秒であるのに対して、0.5mm/秒より速くはない。

熱分割速度は異なるステージ、すなわち初期、中間段階、および終了付近において異なる。ガラスおよびレーザービームスポットの相対的な移動速度はガラスを通して亀裂が進行するにつれて次第に速くならねばならない。

これらの理由により、既知方法によりガラスや他の脆い非金属材料を熱分割する速度を計算し、また適当に調整することは實際上不可能である。したがって高品質な分割および精度は実際状況 (real life conditions) の下では得られない



レーザー誘起熱分割の低速度の累積的な結果、すなわち精度が悪く熱分割パラメータの制御および調整が複雑であることにより、レーザービームによる熱分割の上述方法は実際的な適用を見出すことができず、また将来的に期待できないと認識されてきた（レディー、ディー・インダストリアル・アプリケーションズ・オブ・レーザース、モスコウ、MIR出版社、1981年、第462～463頁）。

ガラスチューブを切断する既知方法は、意図される切断線に沿ってスコアー（刻線）すなわちニックを形成し、次ぎに各チューブを回転させ且つ同時にレーザービームに沿って前進させてこのレーザービームで切断線を加熱し、引き続き加熱切断線を冷却する諸段階を含む（SU発明者の認証第857025号）。

切断線をスコアーで形成してガラス強度を人工的に低減させることは亀裂進行の信頼性を高め、また熱分割に必要なエネルギー量を減少させる。チューブは加熱されると、圧縮応力が表面層に発生し、深部層に引張り応力が発生する。この加熱されたガラスチューブが急激に冷却されると、その表面層は速やかに冷却されてその体積を減じる傾向を示す一方、内側層はこの傾向に逆らい、これによりガラスの外側部分は引張り応力を受けることになる。ガラスの引張り強度はその圧縮強度よりも実質的に低いので、このガラスチューブ切断方法の使用は加熱帯を局所的に冷却せずに従来の熱分割技術に較べて熱分割効率を実質的に改善する。

しかしながらこのガラスチューブ切断方法は板ガラスすなわちシートガラスのような脆い非金属材料の分割に対しては適当な効率を有して適用することができない。その根本的な理由は、ガラスチューブはレーザービームストリップ内を繰り返し回転されて次第に熱応力の蓄積が行われることで全周にわたって切断されるからである。切断線のその後の局所的な冷却は亀裂を引き起こす熱応力の発生をもたらし、亀裂はチューブが回転されるのでそのまわりを延在する。

この技術がシートすなわち板ガラスの熱分割に使用されるならば、既に言及した欠点および制限がこの技術にも適用されるので、切断効率および精度の適当な上昇は全く生まれない。

用して部分的に得られる。この特許は切断されるガラスシートまたは同様な材料が

座標テーブル上に取付けられた回転テーブル上に取付けられ、また熱衝撃で引き起こされる亀裂の進行が光源および検出器で監視されて、検出器からデータが導かれて両テーブルの動きを制御するようになされた熱分割方法を開示している。この装置は、切断される材料の表面に楕円ビームを投影させるようにする球状一円筒形の結像光学装置を使用する。これにより熱影響帯の狭小化および温度勾配の増大、したがって切断速度および精度の両方の向上を可能にする。この処理において、空気を含む水ジェットとされた冷媒が加熱された帯に向けられて、切断線に沿って引張り応力を発生させる。

しかしながら他の知られたガラスの熱分割方法におけるのと同様に、この技術で得られる切断速度は、例えばガラスおよび他のセラミックまたは石英のようなガラスや他の脆い非金属材料の熱伝導率が小さいために比較的低いままとされる。

本発明は亀裂の形状、方向、深さ、速度および精度を厳密に制御できる熱処理で脆い非金属材料を切断する方法の提供を目的とする。

本発明によれば、脆い非金属材料本体の一方の表面に対して特定深さ且つ方向の亀裂を形成する方法であって、本体と第1放射ビームが表面に当てられるターゲット面積部分との間において亀裂の意図する方向に沿って相対的な運動を行わせ、また亀裂の意図された線上で且つ選択された距離だけターゲット面積部分から下流方向へ移動した加熱表面上の点へ冷却媒体の流れを方向決めすると共に、材料の軟化点より低い温度に表面を加熱するようビームエネルギーを制御する諸段階を含む方法が提供される。

ビームスポットおよび切断される材料の相対的な運動速度は次式から選択することが好都合である。すなわち

$$V = k a (b + 1) / \delta$$

(V:加熱ビームおよび材料の相対的な移動速度、k:材料の熱特性およびビームの出力密度に依存した比例係数、a:材料表面上のビームスポットの幅、

1

(11)

特表平8-509947

までの距離、 $\delta$ ：盲亀裂の深さ)

冷却条件および分割速度に関係したビームのパラメータのこの選択は、与えられた特性の材料に必要な深さの盲亀裂の形成を行う。狭小な局所帯に破壊的な引張り応力が集中することにより、また材料本体の加熱が不要であることにより、切断速度は既知方法に較べて100倍またはそれ以上に速められ得るのであり、切断速度および切断精度の両方共が切断される材料の最初のシート寸法に影響されない。この切断方法において、特徴とする材料の表面加熱により、また加熱帯の局所的冷却により、切断される材料の反対側表面の状態だけでなく横方向の境界もまた亀裂形成過程に影響しない。Na-K板ガラスをこの方法で切断する場合、 $10\mu\text{m}$ の精度で $1000\text{mm}/\text{秒}$ の速度が達成された。

使用される加熱ビームは、切断される材料における入射箇所で楕円横断面をなす干渉性放射ビームとされるべきことが特に好都合である。このレーザービームスポットの寸法はビーム出力密度を $0.3 \sim 20.0 \times 10^6 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ の範囲に維持するように選択され、以下の比例が観察される。すなわち、

$$a = 0.2 \sim 2.0 \text{ h}, \text{ および}$$

$$b = 1.0 \sim 10.0 \text{ h}$$

( $a, b$ ：楕円ビームスポットの短軸および長軸の長さ、 $h$ ：材料の厚さ)

レーザービームスポットのエネルギーおよび幾何学的パラメータに与えられるこれらの制限は、各種の熱物理的特性の、および様々な厚さの材料に盲亀裂の形成を与える。

切断作動に先行して切断帯が予熱されるが更に好都合であり、この予熱温度は次の条件を満たすように選択される。すなわち

$$T = 0.4 \sim 1.0 \Delta T$$

ここで、 $\Delta T$  は冷却される材料の熱抵抗である。

材料表面の予熱は切断速度を速めるだけでなく、亀裂の深さを増大し、これは比較的大きな厚さの材料を切断するとき重要なことである。

合とされる。このような再加熱は亀裂の深さを実質的に増大するか、その材料を完全に分割する。更に、再加熱時にビームスポットに対する材料の相対的な移動速度は、盲亀裂を形成するための最初の過程におけるよりも十分に速くなる。

閉結路に沿った切断において、ビームは該路に沿う何れの位置でも切断線に接線方向に移動されねばならない。

更に、閉結路に沿った切断時に、切断に先行して材料表面は次第に深さを増大するように該路に沿ってスコアーを形成されねばならず、その後に加熱および冷却がスコアーの最深部から開始される。

比較的小さな彎曲半径の閉結路に沿って切断されるとき、再加熱はその閉結路の半径方向外方へオフセットしたビームで行われなければならない。

上述した特別な特徴は、切断される物品の高い幾何学寸法精度を得るために、また切断面が付加的な機械加工を必要としないようにするために与えられる。

亀裂の形状および方向を制御するために、加熱はエネルギーが相対的な移動路に沿って分散されるビームで行われる一方、材料表面上の冷却帯の位置もまたビームスポット位置に対して制御される。

装飾縁部の面を有する物品を製造するために、加熱は相対的な移動線に対して $3 \sim 45^\circ$ の角度に長軸を有する楕円形のビームスポットで行われねばならない。

開示方法は実質的に正確な切断速度を速めるだけでなく、形成される亀裂の形状、方向および深さに関する信頼性の高い制御を行う。

本発明はここで例として添付図面を引用して説明される。図面において、

第1図は本発明による非金属材料の切断において如何にして盲亀裂が形成されるかを概略的に示す。

第2図は材料が予熱される温度に対する本発明による非金属材料の切断速度の依存性をグラフで示す。

第3図は予熱温度に対する盲亀裂の深さの依存性をグラフで示す。

第4図、第5図は（第5図は第4図の線V-Vに沿う断面図である）曲線閉結路に沿って切断する前に次第に深さを増大するように材料にスコアーを形成する

第6図は本発明により製造された装飾隆起パターンの縁部面を示す。

熱弾性応力の作用の下で非金属材料特にガラスの切断は次のように行われる。ガラス(第1図)のような非金属材料の部片1の表面が干渉性放射の入射ビームで加熱されるとき、かなりの圧縮応力が材料1の表面層に発生されるが、これらは亀裂または割れ(分割)を引き起こさない。材料を切断するためには、以下の条件が満たされねばならない。先ず第1に、ビームは切断される材料表面を加熱できねばならず、すなわちその放射は切断される材料がこれに対して実際に不透明である波長とされねばならない。したがってガラスの場合は、放射は10.6  $\mu\text{m}$ の波長を有するCO<sub>2</sub>レーザー、約5.5  $\mu\text{m}$ の波長を有するCOレーザー、または2.9  $\mu\text{m}$ の波長を有するHFレーザーのビームのように、2  $\mu\text{m}$ を超える波長を有する赤外線範囲とされねばならない。第2に、材料表面が加熱されるとき、その最大温度は材料の軟化点を超えてはならない。そうでないと、材料の塑性限界を超えてしまうと、切断された線が冷却された後に熱応力が残留してしまい、材料の亀裂形成を制御不能にしてしまう。

適当な冷媒の流れすなわちジェットが前進するビームスポット2の後方で材料1の面積部分3に向けられ、切断線に沿った表面層のはっきりした局所的な冷却をもたらすようにされる。このように形成された温度勾配は材料1の表面層に引張り応力を誘起し、またこれらの応力が材料の引張り強度を超えると、圧縮状態にある材料部分にまで下方へ浸透する盲亀裂4が進行される。これにより盲亀裂4は加熱帯および冷却帯の境界面にまで、すなわち最大温度勾配の面積部分にて材料に形成される。亀裂の深さ、形状および方向は熱弾性応力の分布により決まり、この分布は幾つかの要因により決まる。

これらの要因は、

ビームスポットのパラメータ、すなわち出力密度、ビームスポットの寸法および形状、

ビームスポットおよび材料の相対的な移動速度、

加熱帯に冷媒供給の熱物理的特性、量および条件、および

亀裂を発生する材料の熱物理的および機械的特性、その厚さ、およびその表面

A

異なる材料に関する切断サイクルを最適化させるために、切断処理の主パラメータおよび変数の間に適当な関係を確立することが必要である。

実験によれば、ビームスポット2および冷媒流が流下される面積部分3からのその間隔によって、ビームおよび材料の相対的な移動速度 $V$ および盲亀裂の深さ $\delta$ は次式で関係付けられることが見出された。すなわち、

$$V = k a (b + 1) / \delta$$

( $V$ :ビームスポットおよび材料の相対的な移動速度、 $k$ :材料の熱物理的特性およびビーム出力密度に依存する比例係数、 $a$ :ビームスポットの幅、 $b$ :ビームスポットの長さ、 $1$ :ビームスポットの後端縁から冷却帯の前端縁までの距離、 $\delta$ :盲亀裂の深さ)

材料を切断することに使用されるレーザービームの最大出力密度の決定において、材料の表面層の最大温度は軟化点を超えてはならない。したがって、約 $0.3 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ の最小出力密度値は低温分割速度での厚いガラスの低熔融クルードに関して受入れることができる。 $20 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ の最大出力密度値は高熔融石英ガラス、コランダムおよび高い軟化点または高い熱伝導率を有する他の材料を切断するのに使用できる。

材料1の表面の温度はレーザービーム2に露出される時間に直接に依存し、円形横断面に代わる楕円形のビーム2の使用は、同じ相対的な移動速度に関して切断線に沿う材料1の表面上の各点を加熱する時間を延長させる。それ故にレーザービーム2の設定された出力密度を有して、また材料2の加熱の必要深さを維持するために本質的なことであるレーザービームスポットから冷却スポットの前端縁までの同じ距離を有して、レーザービームスポットが移動方向に大きく延在されればされるほど、レーザービームスポットと材料との相対的な移動速度は速くなることが示される。

更に、切断方向を横断する加熱帯の何れかの十分な狭小化が切断精度を向上させる。

レーザービームスポット2が過度に狭小になると、これは発生される熱応力を

(15)

特表平8-509947

レーザービームスポット2の短軸および長軸の長さの間および切断される材料の厚さに適正な関係が示された。すなわち、

$$a = 0.2 \sim 20.0 h$$

$$b = 1.0 \sim 10.0 h$$

( $a, b$  : 楕円ビームスポット2の短軸および長軸の長さ、 $h$  : 材料1の厚さ)

レーザービームスポット2の幅が材料厚さの0.2倍より小さいとき、すなわち  $a < 0.2h$  のときは、切断処理の効率は冷却帯の熱引張り応力の作用が減少するために減じられる。これを修正するには切断速度の遅速化および亀裂4の深さの減少が必要であり、言うまでもなく切断線に沿った材料の過熱の可能性が大きくなり、この結果残留熱応力を生じる。他方、 $a > 2h$  ならば、切断精度は加熱帯の不要な幅によって悪影響を受ける。

レーザービームスポットの長軸の長さの範囲を  $b = 1.0 \sim 10.0 h$  と規定する理由は、 $b < h$  ならば切断速度は遅くなりすぎ、 $b > 10h$  ならば切断精度が低減されるからである。

熱分割速度は形成される盲亀裂4の深さに逆比例し、すなわちビームおよび材料の相対的な移動速度が速ければ速いほど、亀裂4の深さは浅くなる。0.3～2.0mmの厚さの比較的薄いシート材料が切断されるときは、100～500mm/秒ほどの速い切断速度でさえも形成される微細亀裂の深さは、その後にその経路に沿って適当な品質で最終的に分割または割れを引き起こすには不十分である。しかしながらより厚い板材料が切断されるときは、相対的な移動速度が遅くても浅い微細亀裂が形成され、それに沿う最終的な分割を全く困難にする。

実験は、 $\Delta T$  が冷却に対する材料の熱抵抗であるときに、 $T = 0.4 \sim 1.0 \Delta t$  の範囲内のある温度まで分割される材料1を予熱することは熱分割速度を急激に速めることを示した。第2図は、6mm厚—曲線a、10mm厚—曲線b、および25mm厚—曲線cの一般グレードの板ガラスに関して、予熱温度に対する熱分

割の依存性をグラフで示している。

4

、 $4\Delta T$ より低い温度に予熱することは効果はないが、これに対して $\Delta T$ より高い温度にまで予熱温度を高めることは、切断線がレーザービームでその後加熱され且つまた冷媒により局所的に冷却されるときに熱応力の作用の下で材料の制御不能な亀裂形成の脅威が現実となることから、思慮が足りない。

切断速度を速めることと較べて、材料を予熱することは形成される盲亀裂の深さを深めることが見出された。実験は切断される材料表面の予熱温度に亀裂の深さが直線的に依存することを明らかにした。添付図面の第3図は上述の板ガラスに関する同じ線図、曲線d、e、fを示している。

ある場合には、盲亀裂4（第1図）の深さを深めるため、または切断線に沿って材料を完全に分割するために切断線を再加熱することが本質であることが更に見出された。本発明による方法は材料1に盲亀裂4を形成し、これらはある場合に比較的浅くされる。直線的な切断の場合、材料1をブランクにする最終的な分割は、手操作または特別な機構または装置に助成されてスコアー付き材料1を破断して行われる。しかしながら手操作による破断作業は得られる物品の高品質を適当にサポートせず、拒絶されることになる。更に、特に著しい複雑さは閉じた曲線輪郭のブランクを破断して取り出すことで与えられる。この問題を解決するために、切断線はレーザービーム2または他の適当な熱源によって再加熱されるべきである。この再加熱により生じた熱応力は盲亀裂4を更に深くする。亀裂4の深さの程度は熱源出力、切断速度、切断されるガラスまたは他の材料の厚さ、および最初の微細亀裂の深さに依存する。これらのパラメータを適当に変化させることで、完全に分割するまで亀裂4の必要とされる程度の深さの増大を得ることが可能である。

既に説明したように、曲線の閉結路（第4図）に沿う切断処理において、ビーム2はその閉結路に沿う何れの点でも切断線の厳密に接線方向へ移動されねばならない。これは、第1にビームスポットの長軸と相対的な移動方向との間の角度 $\phi$ に対して熱分割速度が依存することによって説明される。相対的な移動方向に対してビームスポットの長軸がある角度をなすことで、移動速度の値は低減され



小値となる。楕円形ビーム2の長軸および短軸の比率 $b/a$ が減少すると、それらの有効速度 $V$ の間の差も減少する。第2に、切断線の厳密に接線方向にビーム2が移動する必要性は、特に最終的な分割のための再加熱の間においては、切断により生産される物品の材料表面に対して直角に高品質端面を形成すべき必要性和関連する。楕円形ビーム2が切断線から接線方向へ偏倚するにつれて、熱応力の非対称的な分布が亀裂4の平面を材料表面に対して直角となるようにするのであり、これはある場合には容認することができない。

閉結曲線路に沿う切断には更に他の問題が関係する。このような切断においては、実際の切断線は経路が会う面積部分にて予め定めた経路から外れる傾向を示し、これは亀裂4の始点に存在する同様な引張り応力が組み合うことによる。これを避けるために、切断を開始する前に次第に深さが深くなるスコアー（刻線）すなわちニック5（第4図、第5図）を切断線に沿って形成する。続く連続した切断される材料の加熱および冷却はスコアー5がその最深部6である箇所から開始される。したがって熱亀裂はスコアー5の最深部6から始まり、経路の閉結はスコアー5の深さが最少限の点7にて生じる。これは引張り応力を減少させ、曲線の輪郭が閉結されるときに切断線が屈曲（crooking）することを実際に排除する。

実験からスコアー5の最適長さは次式から決定できることが見出された。すなわち、

$$V = k a (b + 1) / \delta$$

（ $V$ ：ビームスポットおよび材料の相対的な移動速度、 $k$ ：材料の熱物理的特性およびビーム出力密度に依存する比例係数、 $a$ ：ビームスポットの幅、 $b$ ：ビームスポット2の縦方向の横断寸法、 $1$ ：ビームスポットの後端縁から冷却帯の前端縁までの距離、 $\delta$ ：盲亀裂4の深さ）

これにおいては既に説明したように、切断線の加熱および続く冷却はスコアー5の最深部6で始められる、すなわちビームスポット2の中央が最深部6に達す

るか、またはスコアーの外端部から少なくとも距離 $c$ を隔てたときに、開始され

部までの距離  $c$  の値の最適範囲を、次式に示すようにもたらしした。すなわち、

$$0 \leq c \leq 1/2$$

更に、スコアー 5 は狭く比較的深い 1 つの凹部すなわちニックとされるべきであって、分割面の品質を損なうような縦および横方向の微細亀裂の引っかかり等ではないことが本質である。

切断が比較的小さな曲率半径の曲線輪郭に沿って導かれるときは、彎曲輪郭の境界へ向けて中心からオフセットされたビームで再加熱が好ましく行われる。この技術の実験は以下に説明される。直線的な切断においては、熱弾性応力は微細亀裂が形成される最初の加熱時、および微細亀裂に沿って材料が最終的に分割される時の再加熱の間の両方で移動経路に対して永久的に対称的に保存される。しかしながら切断がわき輪郭に沿って行われるときは、熱弾性応力のこの対称性は既に加熱された彎曲内の材料の体積部分の影響で乱され、この影響が大きければ彎曲の曲率半径は小さい。この影響は特に彎曲路の再加熱時に強調され、亀裂を材料表面に対する直角方向の延在から偏倚させる傾向を示し、したがって切断精度および余分な材料を除去した後の切断面の品質に悪影響を及ぼす。それ故に、小さい曲率半径に沿う切断での切断精度および切断面の品質を向上させるために、ビームは再加熱時は境界へ向けて曲線からオフセットされるべきことが好ましい。このオフセット値は切断速度、曲率半径、ビームスポット寸法、および材料の厚さに依存し、実験から見出されている。

電子製品、機器製造等の工業分野において、ガラス等の非金属材料の物品を製造するほとんどの例で、材料自体の表面に対する亀裂平面の厳密に直角性が要求されるように、幾何学的寸法および縁部面の品質に厳密な要求がなされる。本発明による方法を実施する上述した技術は特に最適なこの問題解決を目的とする。しかしながらガラスなどの非金属材料の物品の端面の品質が、例えばファセットまたは斜面または装飾用隆起パターンの端面すら製造することが望まれるような

全く異なる要求を満たすことが期待される他の技術分野がある。これを達成するために、各例に必要なのは切断線に対してエネルギーの非対称性を再配分し、ま

応力場の要求された分布形状を意図することによって、切断帯における熱弾性応力の動的分布を変化させることである。

したがって、速度ベクトルに対し選択された角度を通して楕円形横断面のビーム2（第4図、第5図）を回転させることで移動路に対する熱場の対称性が乱されるときに、装飾用の隆起パターンの端面が製造できる。このようにして発生された熱応力は、ビーム2の中心に含まれる平面に対して非対称に分布され、移動方向に直角であり、熱線に沿う装飾用の形状輪郭（第6図）に材料を個別に分割するようになる。

既に説明した技術により必要な経路に沿って盲熱亀裂として先行して切断線が引かれ、次ぎにこの切断線が切断線に対してある角度で回転される楕円形横断面のビームで再加熱されたとき、装飾用端面は向上された信頼性の下で製造される。この結果、微細亀裂の端部に集中した引張り応力および非対称ビームで切断線を再加熱して発生された応力の重なりが生じる。材料の体積を通る応力分布の動力学は楕円形ビームスポット2、移動方向に対するその角度 $\phi$ 、ビームの有効出力密度、ガラスまたは他の材料の厚さ、およびビームおよび材料の相対的な移動速度のような要因に依存する複雑さを特徴とする。

装飾用の複雑な輪郭の材料2の分割は次のように行われる。楕円形横断面の傾斜したビーム2は再加熱の間に材料に対して移動するので、傾斜亀裂が形成され、ある角度で最初の微細亀裂により決定された方向へ伝播する。亀裂4（第1図）のこの伝播は、材料の極限強さを応力が超える面積部分において段階的に生じる。応力は微細亀裂からの距離で値を減少するので、熱分割パラメータに依存して亀裂の進行は止まる一方、新たに形成された亀裂における引張り張力の発現が形成された応力輪郭を変化させ、亀裂の傾斜は最初の亀裂の傾斜から変化される。ビームは移動するので、この亀裂形成サイクルは繰り返される。

最初の微細亀裂の存在は装飾用端面を形成するのに必須ではない。しかしながら微細亀裂が既に存在していると傾斜したファセットが形成され、これは物品の

端面の見栄えを向上させる上、人がその物品を取り扱うときにその彼または彼女

熱分割によるガラス物品の端面のこの装飾用加工は、ダイヤモンドによる切断およびファセット形成、および引き続くフッ化水素酸溶液中での化学的ポリッシングの複雑で労力の激しい作業に代えて、芸術品、および鏡、照明器具の要素、カラーミュージックパネルなどのようなガラスで作られた製造消費財の装飾仕上げに使用できる。

本発明の方法は次のように遂行される。ガラスシートのような最初の材料ブランク片が座標テーブルの加熱されたパネル上に置かれる。このテーブルはブランクと一緒に移動するように作動され、ダイヤモンドポイントを備えたスコアー形成機がガラス面に大きな荷重で押圧されてスコアーを形成するようになされる。レーザービームが収斂レンズを通してガラス面に向けられ、スコアー線に当てられる。空気/水混合物（冷媒）のジェットはノズルがスコアーの最深部に向けられた突起に始動される。冷媒ジェットがガラスに当たったスポット箇所に微細亀裂が形成され、ブランクはレーザービームおよびジェットノズルに対して移動するので切断線に沿って進行する。無端経路を形成するように進行する微細亀裂で定められる切断線が閉結すると、加熱帯に対する冷媒の供給が停止される。しかしながらブランクおよびレーザービームによる切断線の加熱は更に全回転するように継続され、ガラスは微細亀裂で定められた線に沿って分割される。亀裂が無端経路に沿って材料の厚さを通して伝播すると、レーザービームは遮断され、座標テーブルは停止され、ブランクはテーブルから取外される。余分な材料を除去して、所定の物品、すなわち正確なカットのガラスディスクが得られる。

#### 例

1. 2 mm厚のシートガラスがLGN-703形式の25WのCO<sub>2</sub>レーザーを使用して切断された。直径が31.2 mmのディスクが時計用ガラスとして使用するために切断された。このガラスブランクは70°Cに予熱された。レーザービームは球状円筒形レンズにより1.4×3.0 mm径の楕円形の横断面を有するビームとなるように収斂された。切断線に沿う4 mmのスコアーが120°の角度の頂点を有するダイヤモンドピラミッドで形成された。切断速度は20 mm/秒であ

板およびシートガラスの切断に加えて、開示した方法は単一結晶および熔融石英、ガラスセラミック、ロイコサファイヤ、セラミックのような非金属材料の切断に使用された。

レーザービームのパラメータおよび他の処理パラメータを変更して異なるグレードのガラスおよび石英の切断にこの開示した非金属材料の切断方法を試験した結果が表1に集計されている。

試験結果の分析は次の結論を示唆している。

切断速度および精度に関するこの切断方法の効率、切断により形成された材料の端面の品質は、材料表面上のレーザービームスポットの縦および横寸法、ビーム出力密度、加熱帯に対する冷媒の供給位置および状態、分割される材料の厚さおよび特性のような処理の主パラメータに影響されるだけでなく、これらのパラメータの間の定められた関係の厳密な観察に影響される。

これにおいて、上述のパラメータの組み合わせに基づいて高品質の切断を得ることができ、材料表面に対して厳密に直角な滑らかで無傷の端面が形成される。例20~22（表1に「\*」で印付けしてある）に示されるように、深さ0.6mmの微細亀裂で定められた切断線が進行方向に角度を付けて方向決めされた楕円形横断面のレーザービームで再加熱されるとき、隆起したバターンの装飾用端部が形成された。

例17~19（表1に「\*\*」印を付してある（）は熱抵抗 $\Delta T-120^{\circ}\text{C}$ のガラスグレードを示している、すなわちこれらの例ではガラス面の予熱温度 $T$ は次のように熱抵抗値に関係する。すなわち、例17、18、19ではそれぞれ $T=0.4\Delta T$ 、 $T=0.7\Delta T$ 、 $T=\Delta T$ である。

この例から、切断速度が速まると亀裂の深さが成長したことが見て取れる。

(22)

特許 8-509947

表 1. 非金属材料を切断する方法の試験結果

例 番号	材料	加工パラメータ										試験結果					
		加熱ビーム パラメータ		a, mm	b, mm	Q, $\times 10^6$ w/mm <sup>2</sup>	h, mm	l, mm	v, mm/s	$\delta$ , mm	T, ℃	$\phi$ , 度	k	k/g	切断精度 mm	残留応力で 拒絶された 品質	再現性
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	ガラス	2	11	1.5	6	20	16	0.6	20	0	0.15	0.1	0.05	0	100		
2	ガラス	2	11	1.5	5	17	16	0.6	20	0	0.14	0.09	0.05	0	100		
3	ガラス	2	11	1.5	5	17	10	1.0	20	0	0.18	0.12	0.05	0	100		
4	ガラス	2	11	1.5	5	17	6	1.3	20	0	0.14	0.09	0.05	10	100		
5	ガラス	4.5	17	0.6	6	28	7	1.75	20	0	0.06	0.1	0.1	0	100		
6	ガラス	4.5	17	0.6	6	28	9.3	1.4	20	0	0.06	0.1	0.1	0	100		
7	ガラス	4.5	17	0.6	6	28	14	1.3	20	0	0.09	0.15	0.1	0	100		
8	ガラス	4.5	17	0.6	6	28	18.8	1.6	20	0	0.09	0.15	0.1	0	100		
9	ガラス	4.5	17	0.6	6	35	7	2.1	20	0	0.06	0.1	0.1	0	80		
10	ガラス	4.5	17	0.6	6	35	0.3	1.35	20	0	0.05	0.08	0.1	0	92		
11	ガラス	8.6	14.3	0.3	6	10	6	3.0	20	0	0.1	0.33	0.5	0	40		
12	ガラス	1.4	10.7	2.2	3	4	39	0.3	20	0	0.57	0.26	0.01	0	100		
13	石英	1.5	1.5	20	3	4	20.4	0.08	20	0	0.2	-	0.05	10	90		
14	石英	1.4	1.4	22	3	4	24.2	0.03	20	0	0.12	-	0.2	88	20		
15	石英用ガラス	1.2	23	1.0	6	4	14	0.5	20	0	0.22	0.22	0.1	18	70		
16	ガラス	4.6	4.6	1.5	2.3	4	18	0.35	20	0	0.16	0.11	0.05	0	50		
17	ガラス	2	11	1.5	6	18	18	0.5	48*	0	-	-	0.05	0	100		
18	ガラス	2	11	1.5	6	18	45	0.82	84**	0	-	-	0.05	0	100		
19	ガラス	2	11	1.5	6	18	120	1.04	120**	0	-	-	0.05	0	60		
20	浮動ガラス	2.5	8	1.4	6	-	18	0.6*	20	3	-	-	-	33	50		
21	浮動ガラス	2.5	8	1.4	6	-	15	0.6*	20	10	-	-	-	0	100		
22	浮動ガラス	2.5	8	1.4	6	-	12	0.6*	20	45	-	-	-	0	64		

【图1】

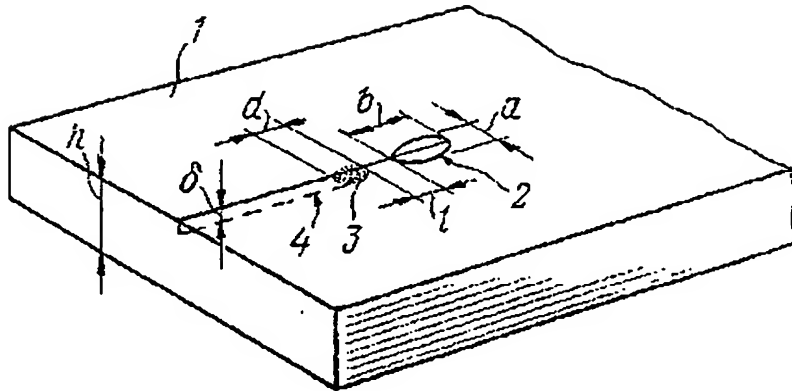


FIG. 1

【图2】

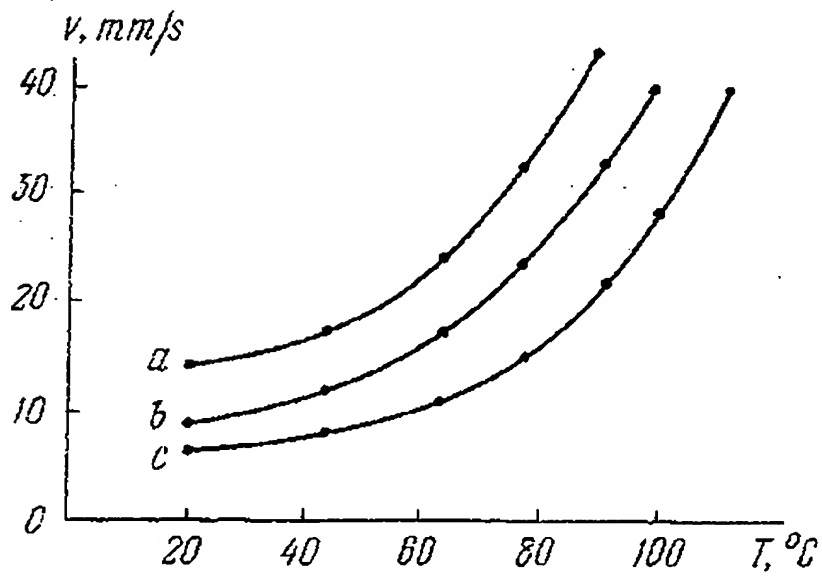


FIG. 2

(24)

特发平 8-509947

【图 3】

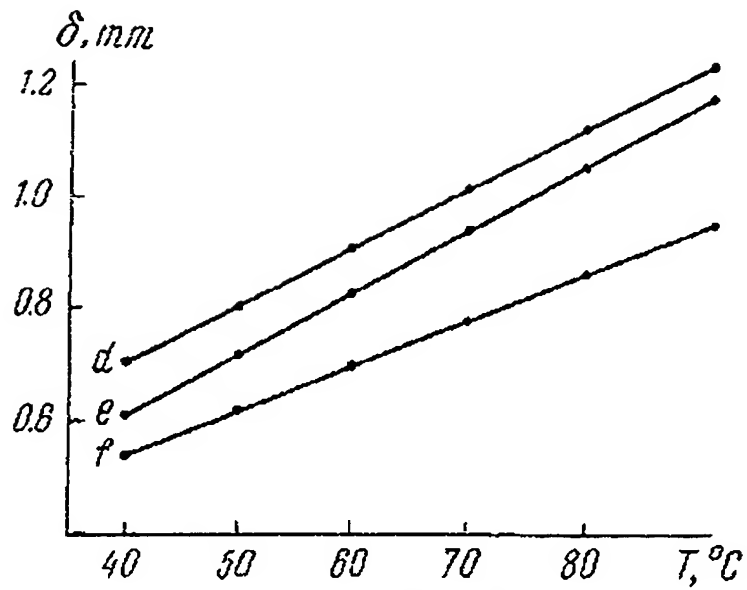


FIG. 3

【图 4】

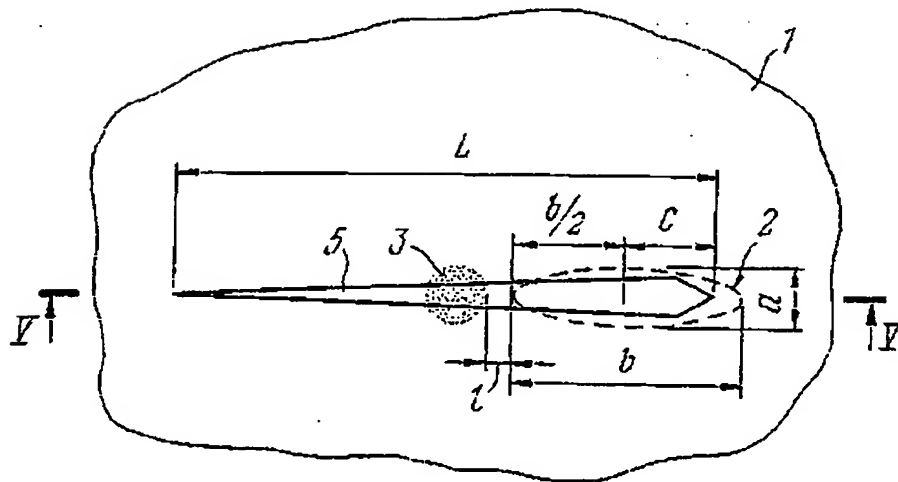


FIG. 4



(25)

特表平8-509947

【图5】

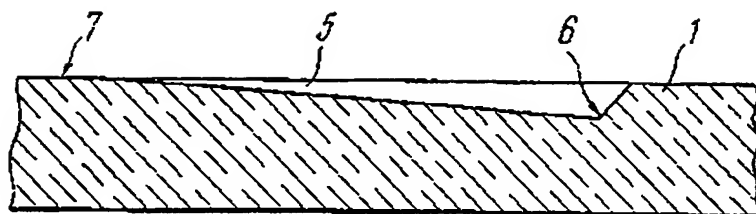


FIG. 5

【图6】

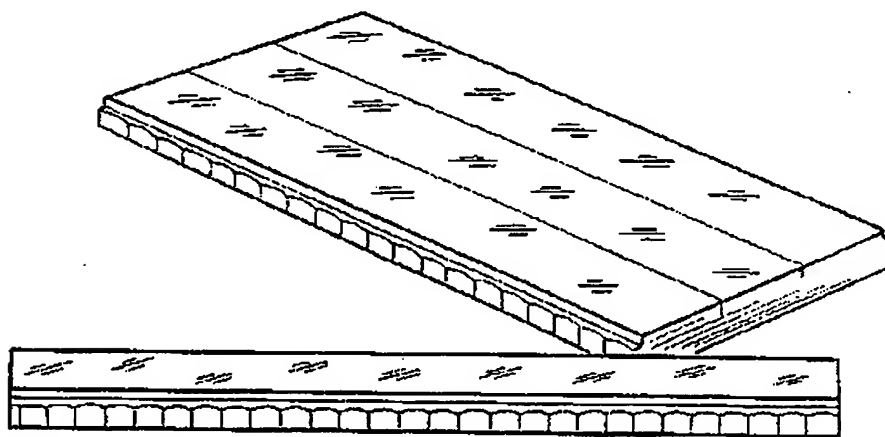


FIG. 6

【手続補正書】特許法第184条の8

【提出日】1994年5月18日

【補正内容】

#### 明細書

##### 非金属材料の分割

本発明はガラスのような脆い非金属材料の物体の分割に関するものである。

ダイヤモンドまたは炭化タングステン工具を使用して、研磨または刻線（すなわちスクライビング (scribing)）で材料を除去してガラスまたは他の脆い非金属材料の物体を加工することが知られている。このような処理は、それらが基本的には手作業で行われる理由から、多大な時間の消費および熟練を必要とする。

GA-A-1254120およびDE-B-1244346は、物体の厚さ全体にわたって延在する亀裂を引き起こす熱衝撃を発生させるために、干渉性放射の入射ビームによる物体の強烈な局所加熱および熱影響帯からの熱の除去 (abstraction) により生じる熱衝撃によって、ガラスまたは同様材料の物体を2つの部分に分割する方法を開示している。

この方法では、1片の板ガラスは10、6  $\mu$ mのレーザービーム放射で加熱される。ビームエネルギーの幾分かは反射されるが、大部分は吸収され、1波長と同じ厚さの薄い表面層に熱として解放される。しかしながらこの加熱層に発生した圧縮応力はガラスを割るには至らない。熱伝導によりガラス物体の内部へ更に伝播される。板ガラスの分割は、そのガラスのかなりの容積が加熱され、熱誘起応力がその引張り強度を超えたときに起こる。亀裂が形成され始めるときには、レーザービームの入力点は既にガラスの縁部から移動されている。したがって亀裂の進行および伝播はレーザースポットの動きより遅れる。ガラスの熱分割の速度はどちらかと言えば遅く、レーザービーム出力を高めることで速めることはできない。何故ならこの出力があるレベルを超えるとガラスは過熱されてしまい、加熱線に沿った縦および横方向の微細亀裂の形成が明白となるからである。

熱分割の速度は切断されるガラスの厚さの2乗に逆比例する。熱分割速度は最初のガラス板すなわちガラスシートの寸法にも依存することが見出されている。

0 mmを超える寸法のガラスブランクを熱分割することはできない。

低分割速度は別として、通し亀裂 (through-going crack) による熱分割は次の理由によって十分に高い切断精度を与えることはない。熱亀裂はガラス板の縁部から始まる。この亀裂が始まる時点までにレーザービームは既にガラスの縁部から移動して離れている。この面積部分内、すなわちガラス縁部からレーザービームスポットまでの範囲において、実際に分割が始まるまでは熱応力の複雑な分布がガラス本体内に照射線に沿って生じる。

亀裂が進行するときは、亀裂は熱応力がガラスの引張り強度を超えた面積部分を通して伝播する。これは亀裂がレーザービームスポットに直ぐ隣接する面積部分に達するまで続き、そこでは大圧縮応力が表面層に集中している。亀裂は応力をバイパスするように進行する。この点において、亀裂の始点および加熱表面層の下側のガラス部分における引張り応力が組み合って亀裂のそれ以上の伝播を止めるようにする。

亀裂が進行すると、亀裂の両側における材料縁部は離れる方向へ押され、亀裂の更なる伝播を助成する機械的応力をもたらす。正確な分割を保証するために、亀裂発生力は亀裂平面に関して対称的でなければならないことが本質である。これは亀裂が中央面に沿って発生されるべきときは容易に達成でき、その場合には亀裂はレーザービームスポットが追跡するラインから外れるにしてもほんの僅かである。このために、亀裂が板の境界へ向けて進行すると熱弾性応力が非対称となるために亀裂はレーザービームの走路に対して彎曲する。

既に言及したように、レーザーに誘起される熱分割の速度は切断される板の寸法に依存する。したがって500×300 mm寸法で3 mm厚の浮動ガラス板の熱分割速度は、同じ材料の30×100 mmのものが8 mm/秒であるのに対して、0.5 mm/秒より速くはない。

熱分割速度は異なるステージ、すなわち初期、中間段階、および終了付近において異なる。ガラスおよびレーザービームスポットの相対的な移動速度はガラスを通して亀裂が進行するにつれて次第に速くならねばならない。

る速度を計算し、また適宜に調整することは實際上不可能である。したがって高品質な分割および精度は実際状況 (real life conditions) の下では得られない。

レーザー誘起熱分割の低速度の累積的な結果、すなわち精度が悪く熱分割パラメータの制御および調整が複雑であることにより、レーザービームによる熱分割の上述方法は実際の適用を見出すことができず、また将来的に期待できないと認識されてきた (レディー、ディー・インダストリアル・アプリケーションズ・オブ・レーザース、モスコウ、MIR出版社、1981年、第462~463頁)。

ガラスチューブを切断する既知方法は、意図される切断線に沿ってスコアー (刻線) すなわちニックを形成し、次ぎに各チューブを回転させ且つ同時にレーザービームに沿って前進させてこのレーザービームで切断線を加熱し、引き続き加熱切断線を冷却する諸段階を含む (SU発明者の認証第857025号)。

切断線をスコアーで形成してガラス強度を人工的に低減させることは亀裂進行の信頼性を高め、また熱分割に必要なエネルギー量を減少させる。チューブは加熱されると、圧縮応力が表面層に発生し、深部層に引張り応力が発生する。この加熱されたガラスチューブが急激に冷却されると、その表面層は速やかに冷却されてその体積を減じる傾向を示す一方、内側層はこの傾向に逆らい、これによりガラスの外側部分は引張り応力を受けることになる。ガラスの引張り強度はその圧縮強度よりも実質的に低いので、このガラスチューブ切断方法の使用は加熱帯を局部的に冷却せずに従来の熱分割技術に較べて熱分割効率を実質的に改善する。

しかしながらこのガラスチューブ切断方法は板ガラスすなわちシートガラスのような脆い非金属材料の分割に対しては適当な効率を有して適用することができない。その根本的な理由は、ガラスチューブはレーザービームストリップ内を繰り返し回転されて次第に熱応力の蓄積が行われることで全周にわたって切断されるからである。切断線のその後の局所的な冷却は亀裂を引き起こす熱応力の発生

この技術がシートすなわち板ガラスの熱分割に使用されるならば、既に言及した欠点および制限がこの技術にも適用されるので、切断効率および精度の適当な上昇は全く生まれない。

切断速度および精度の上昇はSU-A-1231813に開示された技術を使用して部分的に得られる。この特許は切断されるガラスシートまたは同様材料が

座標テーブル上に取付けられた回転テーブル上に取付けられ、また熱衝撃で引き起こされる亀裂の進行が光源および検出器で監視されて、検出器からデータが導かれて両テーブルの動きを制御するようになされた熱分割方法を開示している。この装置は、切断される材料の表面に楕円ビームを投影させるようにする球状円筒形の結像光学装置を使用する。これにより熱影響帯の狭小化および温度勾配の増大、したがって切断速度および精度の両方の向上を可能にする。この処理において、空気を含む水ジェットとされた冷媒が加熱された帯に向けられて、切断線に沿って引張り応力を発生させる。

しかしながら他の知られたガラスの熱分割方法におけるのと同様に、この技術で得られる切断速度は、例えばガラスおよび他のセラミックまたは石英のようなガラスや他の脆い非金属材料の熱伝導率が小さいために比較的低いままとされる。

本発明は特定の形状の亀裂が切断される材料本体の一方の面に形成され、この亀裂が特定の深さで材料本体内部に延在するようになされた、熱衝撃処理で脆い非金属材料を切断する方法の提供を目的とする。

本発明によれば、脆い非金属材料本体の一方の表面に対して特定深さ且つ方向の亀裂を形成する方法であって、本体と第1放射ビームが表面に当てられるターゲット面積部分との間において亀裂の意図する方向に沿って相対的な運動を行わせ、また亀裂の意図された線上で且つ選択された距離だけターゲット面積部分から下流方向へ移動した加熱表面上の点へ冷却媒体の流れを方向決めすると共に、材料の軟化点より低い温度に表面を加熱するようビームエネルギーを制御する諸段階を含む方法が提供される。

ことが好都合である。すなわち

$$V = k a (b + 1) / \delta$$

(V:加熱ビームおよび材料の相対的な移動速度、k:材料の熱特性およびビームの出力密度に依存した比例係数、a:材料表面上のビームスポットの幅、b:ビームスポットの長さ、1:ビームスポットの後端縁から冷却領域の前端縁

までの距離、 $\delta$ :盲亀裂の深さ)

冷却条件および分割速度に関係したビームのパラメータのこの選択は、与えられた特性の材料に必要な深さの盲亀裂の形成を行う。狭小な局所帯に破壊的な引張り応力が集中することにより、また材料本体の加熱が不要であることにより、切断速度は既知方法に較べて100倍またはそれ以上に速められ得るのであり、切断速度および切断精度の両方共が切断される材料の最初のシート寸法に影響されない。この切断方法において、特徴とする材料の表面加熱により、また加熱帯の局所的冷却により、切断される材料の反対側表面の状態だけでなく横方向の境界もまた亀裂形成過程に影響しない。Na-K板ガラスをこの方法で切断する場合、 $10\mu\text{m}$ の精度で $1000\text{mm}/\text{秒}$ の速度が達成された。

使用される加熱ビームは、切断される材料における入射箇所楕円横断面をなす干渉性放射ビームとされるべきことが特に好都合である。このレーザービームスポットの寸法はビーム出力密度を $0.3 \sim 20.0 \times 10^6 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ の範囲に維持するように選択され、以下の比例が観察される。すなわち、

$$a = 0.2 \sim 2.0 \text{ h}, \text{ および}$$

$$b = 1.0 \sim 10.0 \text{ h}$$

(a, b:楕円ビームスポットの短軸および長軸の長さ、h:材料の厚さ)

レーザービームスポットのエネルギーおよび幾何学的パラメータに与えられるこれらの制限は、各種の熱物理的特性の、および様々な厚さの材料に盲亀裂の形成を与える。

切断作動に先行して切断帯が予熱されることが更に好都合であり、この予熱温度は次の条件を満たすように選択される。すなわち

(31)

特表平8-509947

ここで、 $\Delta T$  は冷却される材料の熱抵抗である。

材料表面の予熱は切断速度を速めるだけでなく、亀裂の深さを増大し、これは

比較的大きな厚さの材料を切断するときに重要なことである。

幾つかの場合、材料に盲亀裂が形成された後に切断線を再加熱することが好都合とされる。このような再加熱は亀裂の深さを実質的に増大するか、その材料を完全に分割する。更に、再加熱時にビームスポットに対する材料の相対的な移動速度は、盲亀裂を形成するための最初の過程におけるよりも十分に速くなる。

閉結路に沿った切断において、ビームは該路に沿う何れの位置でも切断線に接線方向に移動されねばならない。

更に、閉結路に沿った切断時に、切断に先行して材料表面は次第に深さを増大するように該路に沿ってスコアーを形成されねばならず、その後に加熱および冷却がスコアーの最深部から開始される。

比較的小さな彎曲半径の閉結路に沿って切断されるとき、再加熱はその閉結路の半径方向外方へオフセットしたビームで行われなければならない。

上述した特別な特徴は、切断される物品の高い幾何学寸法精度を得るために、また切断面が付加的な機械加工を必要としないようにするために与えられる。

亀裂の形状および方向を制御するために、加熱はエネルギーが相対的な移動線に沿って分散されるビームで行われる一方、材料表面上の冷却帯の位置もまたビームスポット位置に対して制御される。

装飾縁部の面を有する物品を製造するために、加熱は相対的な移動線に対して  $3 \sim 45^\circ$  の角度に長軸を有する楕円形のビームスポットで行われねばならない。

開示方法は実質的に正確な切断速度を速めるだけでなく、形成される亀裂の形状、方向および深さに関する信頼性の高い制御を行う。

本発明はここで例として添付図面を引用して説明される。図面において、

第1図は本発明による非金属材料の切断において如何にして盲亀裂が形成されるかを概略的に示す。

依存性をグラフで示す。

第3図は予熱温度に対する盲亀裂の深さの依存性をグラフで示す。

第4図、第5図は（第5図は第4図の線V-Vに沿う断面図である）曲線閉結路に沿って切断する前に次第に深さを増大するように材料にスコアーを形成する

作業を概略的に示す。

第6図は本発明の1実施例により製造された装飾隆起パターンの縁部面を示す

。

熱弾性応力の作用の下で非金属材料特にガラスの切断は次のように行われる。ガラス（第1図）のような非金属材料の部片1の表面が干渉性放射の入射ビームで加熱されるとき、かなりの圧縮応力が材料1の表面層に発生されるが、これらは亀裂または割れ（分割）を引き起こさない。材料を切断するためには、以下の条件が満たされねばならない。先ず第1に、ビームは切断される材料表面を加熱できねばならず、すなわちその放射は切断される材料がこれに対して実際に不透明である波長とされねばならない。したがってガラスの場合は、放射は $10.6\mu\text{m}$ の波長を有する $\text{CO}_2$ レーザー、約 $5.5\mu\text{m}$ の波長を有するCOレーザー、または $2.9\mu\text{m}$ の波長を有するHFレーザーのビームのように、 $2\mu\text{m}$ を超える波長を有する赤外線の種類とされねばならない。第2に、材料表面が加熱されるとき、その最大温度は材料の軟化点を超えてはならない。そうでないと、材料の塑性限界を超えてしまうと、切断された線の両側の材料が冷却された後に熱応力が残留してしまい、材料の亀裂形成を制御不能にしてしまう。

適当な冷媒の流れすなわちジェットが前進するビームスポット2の後方で材料1の面積部分3に向けられ、切断線に沿った表面層のはっきりした局所的な冷却をもたらすようにされる。このように形成された温度勾配は材料1の表面層に引張り応力を誘起し、またこれらの応力が材料の引張り強度を超えると、圧縮状態にある材料部分にまで下方へ浸透する盲亀裂4が進行される。これにより盲亀裂4は加熱帯および冷却帯の境界面にまで、すなわち最大温度勾配の面積部分にて材料に形成される。亀裂の深さ、形状および方向は熱弾性応力の分布により決ま

4



これらの要因は、  
 ビームスポットのパラメータ、すなわち出力密度、ビームスポットの寸法および形状、  
 ビームスポットおよび材料の相対的な移動速度、  
 加熱帯に冷媒供給の熱物理的特性、量および条件、および  
 亀裂を発生する材料の熱物理的および機械的特性、その厚さ、およびその表面状態である。

異なる材料に関する切断サイクルを最適化させるために、切断処理の主パラメータおよび変数の間に適当な関係を確立することが必要である。

実験によれば、ビームスポット2および冷媒流が流下される面積部分3からのその間隔によって、ビームおよび材料の相対的な移動速度 $V$ および盲亀裂の深さ $\delta$ は次式で関係付けられることが見出された。すなわち、

$$V = k a (b + 1) / \delta$$

( $V$ :ビームスポットおよび材料の相対的な移動速度、 $k$ :材料の熱物理的特性およびビーム出力密度に依存する比例係数、 $a$ :ビームスポットの幅、 $b$ :ビームスポットの長さ、 $1$ :ビームスポットの後端縁から冷却帯の前端縁までの距離、 $\delta$ :盲亀裂4の深さ)

材料を切断することに使用されるレーザービームの最大出力密度の決定において、材料の表面層の最大温度は軟化点を超えてはならない。したがって、約 $0.3 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ の最小出力密度値は低温分割速度での厚いガラスの低溶融グレードに関して受入れることができる。 $20 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ の最大出力密度値は高溶融石英ガラス、コランダムおよび高い軟化点または高い熱伝導率を有する他の材料を切断するのに使用できる。

材料1の表面の温度はレーザービーム2に露出される時間に直接に依存し、円形横断面に代わる楕円形のビーム2の使用は、同じ相対的な移動速度に関して切断線に沿う材料1の表面上の各点を加熱する時間を延長させる。それ故にレーザービーム2の設定された出力密度を有して、また材料2の加熱の必要深さを維持

(34)

特表平8-509947

縁までの同じ距離を有して、レーザービームスポットが移動方向に大きく延在されればされるほど、レーザービームスポットと材料との相対的な移動速度は速くなることが示される。

更に、切断方向を横断する加熱帯の何れかの十分な狭小化が切断精度を向上させる。

レーザービームスポット2が過度に狭小になると、これは発生される熱応力を小さくし、したがって分割作用に脅威となる。実験によれば楕円形横断面のレーザービームスポット2の短軸および長軸の長さの間および切断される材料の厚さに適正な関係が示された。すなわち、

$$a = 0.2 \sim 20.0 h$$

$$b = 1.0 \sim 10.0 h$$

( $a, b$  : 楕円ビームスポット2の短軸および長軸の長さ、 $h$  : 材料1の厚さ)

レーザービームスポット2の幅が材料厚さの0.2倍より小さいとき、すなわち  $a < 0.2h$  のときは、切断処理の効率は冷却帯の熱引張り応力の作用が減少するために減じられる。これを修正するには切断速度の遅速化および亀裂4の深さの減少が必要であり、言うまでもなく切断線に沿った材料の過熱の可能性が大きくなり、この結果残留熱応力を生じる。他方、 $a > 2h$  ならば、切断精度は加熱帯の不要な幅によつて悪影響を受ける。

レーザービームスポットの長軸の長さの範囲を  $b = 1.0 \sim 10.0 h$  と規定する理由は、 $b < h$  ならば切断速度は遅くなりすぎ、 $b > 10h$  ならば切断精度が低減されるからである。

熱分割速度は形成される盲亀裂4の深さに逆比例し、すなわちビームおよび材料の相対的な移動速度が速ければ速いほど、亀裂4の深さは浅くなる。0.3～2.0mmの厚さの比較的薄いシート材料が切断されるときは、100～500mm/秒ほどの速い切断速度でさえも形成される微細亀裂の深さは、その後にその経路に沿って適当な品質で最終的に分割または割れを引き起こすには不十分である

4

も浅い微細亀裂が形成され、それに沿う最終的な分割を全く困難にする。

実験は、 $\Delta T$ が冷却に対する材料の熱抵抗であるときに、 $T = 0.4 \sim 1.0$   
 $\Delta t$ の範囲内のある温度まで分割される材料1を予熱することは熱分割速度を急  
 激に速めることを示した。第2図は、6mm厚-曲線a、10mm厚-曲線b、およ

び25mm厚-曲線cの一般グレードの板ガラスに関して、予熱温度に対する熱分  
 割の依存性をグラフで示している。

実験による研究は、得られる生産性が最低限であるために切断される材料を0  
 $.4 \Delta T$ より低い温度に予熱することは効果はないが、これに対して $\Delta T$ より高  
 い温度にまで予熱温度を高めることは、切断線がレーザービームでその後加熱さ  
 れ且つまた冷媒により局所的に冷却されるときに熱応力の作用の下で材料の制御  
 不能な亀裂形成の脅威が現実となることから、思慮が足りない。

切断速度を速めることと較べて、材料を予熱することは形成される盲亀裂の深  
 さを深めることが見出された。実験は切断される材料表面の予熱温度に亀裂の深  
 さが直線的に依存することを明らかにした。添付図面の第3図は上述の板ガラス  
 に関する同じ線図、曲線d、e、fを示している。

ある場合には、盲亀裂4（第1図）の深さを深めるため、または切断線に沿っ  
 て材料を完全に分割するために切断線を再加熱することが本質であることが更に  
 見出された。本発明による方法は材料1に盲亀裂4を形成し、これらはある場合  
 に比較的浅くされる。直線的な切断の場合、材料1をブランクにする最終的な分  
 割は、手操作または特別な機構または装置に助成されてスコアー付き材料1を破  
 断して行われる。しかしながら手操作による破断作業は得られる物品の高品質を  
 適当にサポートせず、拒絶されることになる。更に、特に著しい複雑さは閉じた  
 曲線輪郭のブランクを破断して取り出すことで与えられる。この問題を解決する  
 ために、切断線はレーザービーム2または他の適当な熱源によって再加熱される  
 べきである。この再加熱により生じた熱応力は盲亀裂4を更に深くする。亀裂4  
 の深さの程度は熱源出力、切断速度、切断されるガラスまたは他の材料の厚さ、  
 および最初の微細亀裂の深さに依存する。これらのパラメータを適当に変化させ

とが可能である。

既に説明したように、曲線の閉結路（第4図）に沿う切断処理において、ビーム2はその閉結路に沿う何れの点でも切断線の厳密に接線方向へ移動されねばならない。これは、第1にビームスポットの長軸と相対的な移動方向との間の角度 $\phi$ に対して熱分割速度が依存することによって説明される。相対的な移動方

向に対してビームスポットの長軸がある角度をなすことで、移動速度の値は低減されるべきであり、ビームスポット2の長軸がその移動方向に直角となったときに最小値となる。楕円形ビーム2の長軸および短軸の比率 $b/a$ が減少すると、それらの有効速度 $V$ の間の差も減少する。第2に、切断線の厳密に接線方向にビーム2が移動する必要性は、特に最終的な分割のための再加熱の間においては、切断により生産される物品の材料表面に対して直角に高品質端面を形成すべき必要性和関連する。楕円形ビーム2が切断線から接線方向へ偏倚するにつれて、熱応力の非対称的な分布が亀裂4の平面を材料表面に対して直角となるようにするのであり、これはある場合には容認することができない。

閉結曲線路に沿う切断には更に他の問題が関係する。このような切断においては、実際の切断線は経路が会う面積部分にて予め定めた経路から外れる傾向を示し、これは亀裂4の始点に存在する同様な引張り応力が組み合うことによる。これを避けるために、切断を開始する前に次第に深さが深くなるスコアー（刻線）すなわちニック5（第4図、第5図）を切断線に沿って形成する。続く連続した切断される材料の加熱および冷却はスコアー5がその最深部6である箇所から開始される。したがって熱亀裂はスコアー5の最深部6から始まり、経路の閉結はスコアー5の深さが最少限の点7にて生じる。これは引張り応力を減少させ、曲線の輪郭が閉結されるときに切断線が屈曲（crooking）することを実際に排除する。

実験からスコアー5の最適長さは次式から決定できることが見出された。すなわち、

$$V = k a (b + 1) / \delta$$

(37)

特表平8-509947

性およびビーム出力密度に依存する比例係数、 $a$ ：ビームスポットの幅、 $b$ ：ビームスポット2の縦方向の横断寸法、 $l$ ：ビームスポットの後端縁から冷却帯の前端縁までの距離、 $\delta$ ：盲亀裂4の深さ)

これにおいては既に説明したように、切断線の加熱および続く冷却はスコアー

5の最深部6で始められる、すなわちビームスポット2の中央が最深部6に達するか、またはスコアーの外端部から少なくとも距離 $c$ を隔てたときに、開始される。実験は加熱が開始されるときビームスポット2の中央からスコアーの外端部までの距離 $c$ の値の最適範囲を、次式に示すようにもたらした。すなわち、

$$0 \leq c \leq l/2$$

更に、スコアー5は狭く比較的深い1つの凹部すなわちニックとされるべきであって、分割面の品質を損なうような縦および横方向の微細亀裂の引っかかり橋ではないことが本質である。

切断が比較的小さな曲率半径の曲線輪郭に沿って導かれるときは、彎曲輪郭の境界へ向けて中心からオフセットされたビームで再加熱が好ましく行われる。この技術の実験は以下に説明される。直線的な切断においては、熱弾性応力は微細亀裂が形成される最初の加熱時、および微細亀裂に沿って材料が最終的に分割されるとき再加熱の間の両方で移動経路に対して永久的に対称的に保存される。しかしながら切断がわき輪郭に沿って行われるときは、熱弾性応力のこの対称性は既に加熱された彎曲内の材料の体積部分の影響で乱され、この影響が大きければ彎曲の曲率半径は小さい。この影響は特に彎曲路の再加熱時に強調され、亀裂を材料表面に対する直角方向の延在から偏倚させる傾向を示し、したがって切断精度および余分な材料を除去した後の切断面の品質に悪影響を及ぼす。それ故に、小さい曲率半径に沿う切断での切断精度および切断面の品質を向上させるために、ビームは再加熱時は境界へ向けて曲線からオフセットされるべきことが好ましい。このオフセット値は切断速度、曲率半径、ビームスポット寸法、および材料の厚さに依存し、実験から見出されている。

電子製品、機器製造等の工業分野において、ガラス等の非金属材料の物品を製

4

されるように、幾何学的寸法および縁部面の品質に厳密な要求がなされる。本発明による方法を実施する上述した技術は特に最適なこの問題解決を目的とする。しかしながらガラスなどの非金属材料の物品の端面の品質が、例えばファセット

または斜面または装飾用隆起パターンの端面すら製造することが望まれるような全く異なる要求を満たすことが期待される他の技術分野がある。これを達成するために、各例に必要なのは切断線に対してエネルギーの非対称性を再配分し、またビームスポットに対する冷媒の衝撃点を幾分か適当にオフセットさせて熱弾性応力場の要求された分布形状を意図することによって、切断帯における熱弾性応力の動的分布を変化させることである。

したがって、速度ベクトルに対し選択された角度を通して楕円形横断面のビーム2（第4図、第5図）を回転させることで移動路に対する熱場の対称性が乱されるときに、装飾用の隆起パターンの端面が製造できる。このようにして発生された熱応力は、ビーム2の中心に含まれる平面に対して非対称に分布され、移動方向に直角であり、熱線に沿う装飾用の形状輪郭（第6図）に材料を個別に分割するようになる。

既に説明した技術により必要な経路に沿って盲熱亀裂として先行して切断線が引かれ、次ぎにこの切断線が切断線に対してある角度で回転される楕円形横断面のビームで再加熱されたとき、装飾用端面は向上された信頼性の下で製造される。この結果、微細亀裂の端部に集中した引張り応力および非対称ビームで切断線を再加熱して発生された応力の重なりが生じる。材料の体積を通る応力分布の動力学は楕円形ビームスポット2、移動方向に対するその角度 $\phi$ 、ビームの有効出力密度、ガラスまたは他の材料の厚さ、およびビームおよび材料の相対的な移動速度のような要因に依存する複雑さを特徴とする。

装飾用の複雑な輪郭の材料2の分割は次のように行われる。楕円形横断面の傾斜したビーム2は再加熱の間に材料に対して移動するので、傾斜亀裂が形成され、ある角度で最初の微細亀裂により決定された方向へ伝播する。亀裂4（第1図）のこの伝播は、材料の極限強さを応力が超える面積部分において段階的に生じ

て亀裂の進行は止まる一方、新たに形成された亀裂における引張り張力の発現が形成された応力輪郭を変化させ、亀裂の傾斜は最初の亀裂の傾斜から変化される。ビームは移動するので、この亀裂形成サイクルは繰り返される。

最初の微細亀裂の存在は装飾用端面を形成するのに必須ではない。しかしなが

ら微細亀裂が既に存在していると傾斜したファセットが形成され、これは物品の端面の見栄えを向上させる上、人がその物品を取り扱うときにその彼または彼女が鋭い縁部で手を切らないようにする。

熱分割によるガラス物品の端面のこの装飾用加工は、ダイヤモンドによる切断およびファセット形成、および引き続くフッ化水素酸溶液中での化学的ポリッシングの複雑で労力の激しい作業に代えて、芸術品、および鏡、照明器具の要素、カラーミュージックパネルなどのようなガラスで作られた製造消費財の装飾仕上げに使用できる。

本発明の好ましい方法は次のように遂行される。ガラスシートのような最初の材料ブランク片が座標テーブルの加熱されたパネル上に置かれる。このテーブルはブランクと一緒に移動するように作動され、ダイヤモンドポイントを備えたスコア形成機がガラス面に大きな荷重で押圧されてスコアを形成するようになされる。レーザービームが収斂レンズを通してガラス面に向けられ、スコア線に当てられる。空気/水混合物（冷媒）のジェットはノズルがスコアの最深部に向けられた突起に始動される。冷媒ジェットがガラスに当たったスポット箇所に微細亀裂が形成され、ブランクはレーザービームおよびジェットノズルに対して移動するので切断線に沿って進行する。無端経路を形成するように進行する微細亀裂で定められる切断線が閉結すると、加熱帯に対する冷媒の供給が停止される。しかしながらブランクおよびレーザービームによる切断線の加熱は更に全回転するように継続され、ガラスは微細亀裂で定められた線に沿って分割される。亀裂が無端経路に沿って材料の厚さを通して伝播すると、レーザービームは遮断され、座標テーブルは停止され、ブランクはテーブルから取外される。余分な材料を除去して、所定の物品、すなわち正確なカットのガラスディスクが得られる

例

1. 2mm厚のシートガラスがLGN-703形式の25WのCO<sub>2</sub>レーザーを使用して切断された。直径が31.2mmのディスクが時計用ガラスとして使用するために切断された。このガラスブランクは70°Cに予熱された。レーザービームは球状円筒形レンズにより1.4×3.0mm径の楕円形の横断面を有するビームとなるように収斂された。切断線に沿う4mmのスコアーが120°の角度の

頂点を有するダイヤモンドピラミッドで形成された。切断速度は20mm/秒であった。切断精度は10μmであった。

板およびシートガラスの切断に加えて、開示した方法は単一結晶および熔融石英、ガラスセラミック、ロイコサファイヤ、セラミックのような非金属材料の切断に使用された。

レーザービームのパラメータおよび他の処理パラメータを変更して異なるグレードのガラスおよび石英の切断にこの開示した非金属材料の切断方法を試験した結果が表1に集計されている。

試験結果の分析は次の結論を示唆している。

切断速度および精度に関するこの切断方法の効率、切断により形成された材料の端面の品質は、材料表面上のレーザービームスポットの縦および横寸法、ビーム出力密度、加熱帯に対する冷媒の供給位置および状態、分割される材料の厚さおよび特性のような処理の主パラメータに影響されるだけでなく、これらのパラメータの間の定められた関係の厳密な観察に影響される。

これにおいて、上述のパラメータの組み合わせに基づいて高品質の切断を得ることができ、材料表面に対して厳密に直角な滑らかで無傷の端面が形成される。例20~22(表1に「\*」で印付けしてある)に示されるように、深さ0.6mmの微細亀裂で定められた切断線が進行方向に角度を付けて方向決めされた楕円形横断面のレーザービームで再加熱されるとき、隆起したバターの装飾用端部が形成された。

例17~19(表1に「\*\*」印を付してある)は熱抵抗ΔT=120°C



(41)

特表平8-509947

は次のように熱抵抗値に関係する。すなわち、例17、18、19ではそれぞれ  
 $T = 0.4 \Delta T$ 、 $T = 0.7 \Delta T$ 、 $T = \Delta T$ である。

この例から、切断速度が速まると亀裂の深さが減少したことが見て取れる。

(2)

特許第8-509947

表1. 非金属材料を切断する方法の試験結果

例 番号	材料	加工パラメータ										試験結果					
		加熱ヒーム パラメータ		a, mm	b, mm	Q <sub>t</sub> × 10 <sup>3</sup> w/m <sup>2</sup>	h, mm	l, mm	v, mm/s	δ, mm	T, ℃	φ, 度	k	k/q	切断精度 μm	残留応力で 拒絶された 品質 %	再現性 %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	ガラス	2	11	1.5	6	26	16	0.6	20	0	0.15	0.1	0.05	0	100		
2	ガラス	2	11	1.5	5	17	16	0.6	20	0	0.14	0.09	0.05	0	100		
3	ガラス	2	11	1.5	5	17	10	1.0	20	0	0.18	0.12	0.05	0	100		
4	ガラス	2	11	1.5	5	17	6	1.3	20	0	0.14	0.09	0.05	10	100		
5	ガラス	4.5	17	0.6	6	28	7	1.75	20	0	0.06	0.1	0.1	0	100		
6	ガラス	4.5	17	0.6	6	28	9.5	1.4	20	0	0.06	0.1	0.1	0	100		
7	ガラス	4.5	17	0.6	6	28	14	1.3	20	0	0.09	0.15	0.1	0	100		
8	ガラス	4.5	17	0.6	6	28	18.8	1.0	20	0	0.09	0.15	0.1	0	100		
9	ガラス	4.5	17	0.6	6	35	7	2.1	20	0	0.06	0.1	0.1	0	80		
10	ガラス	4.5	17	0.6	6	35	9.3	1.35	20	0	0.05	0.08	0.1	0	92		
11	ガラス	8.6	14.3	0.3	6	10	6	3.0	20	0	0.1	0.33	0.5	0	40		
12	ガラス	1.4	10.7	2.2	3	4	39	0.3	20	0	0.57	0.26	0.01	0	100		
13	石英	1.5	1.5	20	3	4	20.4	0.08	20	0	0.2	-	0.05	10	90		
14	石英	1.4	1.4	22	3	4	24.2	0.03	20	0	0.12	-	0.2	88	20		
15	石英用ガラス	1.2	23	1.0	6	4	14	0.5	20	0	0.22	0.22	0.1	18	70		
16	石英用ガラス	4.6	4.6	1.5	2.3	4	18	0.85	20	0	0.16	0.11	0.5	0	50		
17	ガラス	2	11	1.5	6	13	18	0.6	48**	0	-	-	0.05	0	100		
18	ガラス	2	11	1.5	6	18	45	0.82	84**	0	-	-	0.05	0	100		
19	ガラス	2	11	1.5	6	18	120	1.04	120**	0	-	-	0.05	33	60		
20	浮動ガラス	2.5	8	1.4	6	-	18	0.6*	20	3	-	-	-	0	50		
21	浮動ガラス	2.5	8	1.4	6	-	15	0.6*	20	19	-	-	-	0	100		
22	浮動ガラス	2.5	8	1.4	6	-	12	0.6*	20	45	-	-	-	0	64		

1. 脆い非金属材料本体(1)の2つの部分を、該本体内部に一方の表面から延在し且つまた表面に沿って所望される方向に延在する亀裂(4)を形成することで互いに分割する方法であり、本体と、意図された亀裂の方向に沿って表面上に放射ビームが入射する該表面のターゲット面積部分(2)との間に相対的な移動を行わせ、また材料の軟化点より低い温度にまで表面を加熱するようにビームエネルギーを制御する諸段階を含む方法であって、

意図された亀裂線上に位置し且つ選択された距離(1)だけ加熱されたターゲット面積部分の後方へ移動された加熱表面の面積部分(3)へ流体冷媒の流れが向けられたことを特徴とする非金属材料の分割方法。

2. 請求項1に請求された方法であって、ビームおよび材料の相対的な移動速度が次式、すなわち

$$V = k a (b + 1) / \delta$$

(V:ビームスポットおよび材料の相対的な移動速度、k:材料の熱物理特性およびビームの出力密度に依存した比例係数、a:材料表面上の加熱ビームスポットの横方向寸法、b:材料表面上の加熱ビームスポットの縦方向寸法、1:加熱ビームスポットの後端縁から冷却帯の前端縁までの距離、 $\delta$ :盲亀裂の深さ)を満たす非金属材料の分割方法。

3. 請求項1または請求項2に請求された方法であって、ターゲット面積部分を非円形に形成し、ターゲット面積部分が亀裂に直角な方向よりも亀裂に沿った方向に長い非金属材料の分割方法。

4. 請求項3に請求された方法であって、ターゲット面積部分が実質的に楕円形である非金属材料の分割方法。

5. 先行請求項のいずれか1項に請求された方法であって、境界および意図された亀裂線を含む本体の少なくとも体積部分が予熱される非金属材料の分割方法。

6. 請求項5に請求された方法であって、亀裂の所望深さに関係した選択された温度に本体が予熱される非金属材料の分割方法。

後に亀裂の線に沿ってその亀裂の深さを更に深くするのに十分な範囲で本体が加熱される非金属材料の分割方法。

8. 請求項7に請求された方法であって、この事後加熱が亀裂と同軸または平行な経路に沿って同じ面に当てられ且つ本体に対して相対的に移動する第2放射ビームにより行われる非金属材料の分割方法。

9. 先行請求項のいずれか1項に請求された方法であって、第1のビームが最初に入射した本体表面の一部が本体の境界から内方へ間隔を隔てられた非金属材料の分割方法。

10. 請求項9に請求された方法であって、第1ビームの経路が本体表面の閉結曲線を追跡し、ビームのターゲット面積部分が非円形のときはターゲット面積部分の長軸の方向がターゲット面積部分の中央に位置する曲線上の点で接線方向に一定して配向された非金属材料の分割方法。

11. 請求項10に請求された方法であって、長軸が前記接線と同芯または平行である非金属材料の分割方法。

12. 請求項10に請求された方法であって、長軸が前記接線に対して固定された角度で延在された非金属材料の分割方法。

13. 先行請求項のいずれか1項に請求された方法であって、意図された亀裂の経路が閉結曲線を形成するようにされたとき、本体表面は該経路の増分部分に沿ってスコアーを形成され、このスコアーの深さはその反対両端で異なり、また第1放射ビームが最初はより深いスコアー部分に向けられる非金属材料の分割方法。

14. 請求項13に請求された方法であって、本体表面から予め定めた深さまで材料をえぐることができる硬質材料の鋭いポイントでスコアーを形成することを含む非金属材料の分割方法。

15. 請求項4または該請求項に従属するいずれか1項に請求された方法であって、ビームは干渉性放射でターゲット面積部分が楕円形横断面とされ、ターゲット面積部分の寸法はビーム出力密度を  $(0.3 \sim 20.0) \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  の範囲に維持する条件を満たしており、以下の比例関係、すなわち

(45)

特表平8-509947

$$a = (0.2 \sim 2.0) h、$$

$$b = (1.0 \sim 10.0) h$$

(a, b:それぞれ楕円の短軸および長軸の長さ、h:材料の厚さ)

が観察される非金属材料の分割方法。

16. 請求項6または該請求項に従属するいずれか1項に請求された方法であって、切断作動に先行して本体材料が次の条件、すなわち

$$T = (0.4 \sim 1.0) \Delta T \quad (\Delta T: \text{冷却される本体材料の熱抵抗})$$

を満たす温度まで予熱される非金属材料の分割方法。

17. 請求項8または該請求項に従属するいずれか1項に請求された方法であって、比較的小さな曲率半径の曲線輪郭に沿って切断されるとき、再加熱はその中心から彎曲輪郭の境界へ向けてオフセットした第2ビームで行われることを特徴とする非金属材料の分割方法。

18. 請求項12または該請求項に従属するいずれか1項に請求された方法であって、装飾用の隆起パターン縁部面を有する物品を製造するために、ターゲット面積部分の長軸が前記接線に対して $3 \sim 45^\circ$ の範囲内の角度( $\phi$ )である非金属材料の分割方法。

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/GB 93/00699

International Application No.

<b>I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>(Of several classification symbols apply, indicate all)*</i>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC		
Int.Cl. 5	C03B33/09; B28D1/22	B26F3/00; B26F3/06; B23K26/00
<b>II. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum Documentation Searched <sup>1)</sup>		
Classification System	Classification Symbols	
Int.Cl. 5	C03B ; B26F ; B23K ; B28D	
Documentation Searched other than Minimum Documentation to the extent that such documents are included in the Fields Searched <sup>2)</sup>		
<b>III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT<sup>3)</sup></b>		
Category <sup>4)</sup>	Classification of Document, <sup>5)</sup> with indication, where appropriate, of the relevant passages <sup>6)</sup>	Relevant to Claim No. <sup>7)</sup>
X	DE,A,1 244 346 (MENZEL) 13 July 1967 see the whole document ---	1,12,18
X	DE,B,2 813 302 (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.) 11 January 1979 see the whole document ---	1,12,18, 26
X	GB,A,2 139 615 (GLAVERBEL) 14 November 1984 see the whole document ---	1,12,18
A	FR,A,2 228 040 (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE) 29 November 1974 see the whole document --- -/-	1,12,18
<p><sup>1)</sup> Special categories of cited documents: <sup>10)</sup></p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"B" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claims or which is cited to establish the publication date of another claim or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"A" document member of the same patent family</p>		
<b>IV. CERTIFICATION</b>		
Date of the Annual Completion of the International Search		Date of Mailing of this International Search Report
12 JULY 1993		31.07.93
International Searching Authority		Signature of Authorized Officer
EUROPEAN PATENT OFFICE		VAN DEN BOSSCHE W.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 1993)

A

(47)

特表平8-509947

PCT/GB 93/00699

International Application No		
III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT (CONTINUED FROM THE SECOND SHEET)		
Category *	Citation of Document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No.
A	FR,A,2 202 856 (GLAVERBEL-MECANIVER) 10 May 1974 see the whole document ---	1,12,18
A	US,A,3 610 871 (WESTERN ELECTRIC COMPANY) 5 October 1971 see the whole document ---	1,12,18
A	US,A,3 629 545 (GRAHAM) 21 December 1971 see the whole document -----	1,12,18

Form PCT/ISA/210 (extra sheet) (January 1987)

# ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.

GB 9300699  
SA 73098

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The members are as contained in the European Patent Office EDP file on the European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information. 12/07/93

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE-A-1244346		US-A- 3453097	01-07-69
DE-B-2813302	11-01-79	None	
GB-A-2139615	14-11-84	None	
FR-A-2228040	29-11-74	BE-A- 813811	16-08-74
		GB-A- 1433563	28-04-76
FR-A-2202856	10-05-74	AT-B- 342232	28-03-78
		BE-A- 805694	05-04-74
		DE-A- 2350502	18-04-74
		GB-A- 1441114	30-06-76
		JP-A- 49075623	22-07-74
		NL-A- 7313900	16-04-74
		US-A- 3935419	27-01-76
US-A-3610871	05-10-71	BE-A- 763007	16-07-71
		DE-A, C 2107740	23-09-71
		FR-A- 2081018	26-11-71
		GB-A- 1324903	25-07-73
		NL-A- 7102159	23-08-71
		SE-B- 363807	04-02-74
US-A-3629545	21-12-71	BE-A- 725595	29-05-69
		DE-A- 1815129	14-08-69
		FR-A- 1598452	06-07-70
		GB-A- 1254120	17-11-71
		NL-A- 6818043	23-06-69

EPO FORM 1007

For more details about this annex : see Official Journal of the European Patent Office, No. 12/82



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**